

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

0696701N



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

#2
41002

出願年月日
Date of Application:

2000年 8月 2日

出願番号
Application Number:

特願2000-234056

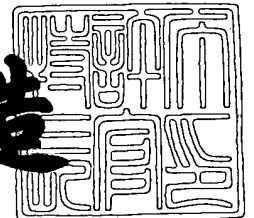
出願人
Applicant(s):

オリンパス光学工業株式会社

2001年 6月25日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3059639

【書類名】 特許願

【整理番号】 00P01704

【提出日】 平成12年 8月 2日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 17/08

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号
 オリンパス光学工業株式会社内

 【氏名】 研野 孝吉

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号
 オリンパス光学工業株式会社内

 【氏名】 森田 祐子

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号
 オリンパス光学工業株式会社内

 【氏名】 木下 博章

【特許出願人】

 【識別番号】 000000376

 【氏名又は名称】 オリンパス光学工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100097777

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 菰澤 弘

【選任した代理人】

 【識別番号】 100088041

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 阿部龍吉

【選任した代理人】

【識別番号】 100092495

【弁理士】

【氏名又は名称】 蛭川昌信

【選任した代理人】

【識別番号】 100092509

【弁理士】

【氏名又は名称】 白井博樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100095120

【弁理士】

【氏名又は名称】 内田亘彦

【選任した代理人】

【識別番号】 100095980

【弁理士】

【氏名又は名称】 菅井英雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100094787

【弁理士】

【氏名又は名称】 青木健二

【選任した代理人】

【識別番号】 100091971

【弁理士】

【氏名又は名称】 米澤 明

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014960

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9102411

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 有機無機複合材料を用いた光学素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも 1 つの入射屈折面と少なくとも 1 つの射出屈折面とを有する光学素子において、前記光学素子は有機無機複合材料にて構成されていることを特徴とする有機無機複合材料を用いた光学素子。

【請求項 2】 前記光学素子の少なくとも 2 つの透過面は光学的パワーを持っていることを特徴する請求項 1 記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【請求項 3】 前記光学素子は少なくとも 1 つの反射面を有しており、物体中心と絞り中心を通る光線を軸上主光線とすると、軸上主光線が前記有機無機複合材料中で屈曲していることを特徴とする請求項 2 記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、有機無機複合材料を用いた光学素子に関し、特に、撮像系、接眼系に適した光学素子に関する。

【0002】

【従来技術】

従来の透明な光学素子は、ガラス（無機材料）で製作するか、プラスチック（有機材料）で製作していた。ガラスで製作する場合は、一般的に研磨により製作されるため、研磨時間がかかる問題がある。一方、プラスチックで製作する場合は、射出成形で製作できるため製作性が良いが、温度特性が良くなく、また、光学素子として使用可能なプラスチックの種類が少なく、特に屈折率の高い材料が存在しなかった。

【0003】

最近では、ガラス製の光学素子を成形する製作方法もあるが、成形で製作できるガラスの種類が制限され、使えるガラスが極限られてしまう。また、プラスチックでも、熱硬化樹脂により成形する方法があるが、これも材料が限定され、特

に屈折率が大きく分散の少ない材料がなかった。

【0004】

上記問題点を整理すると、ガラスの問題点は、

1. 比重が重い
2. 製作性が悪い

プラスチック材料の問題点は、

1. 屈折率が高く分散の少ない物がない
2. 吸湿性がある
3. 複屈折性がある
4. 強度が弱い

となる。

【0005】

従来のガラスを用いた光学素子では比重が重いために、特に接眼レンズ等のレンズ口径の大きい光学素子では重量の増加が問題となる。また、口径の大きいカメラ用の望遠レンズ等では重量は大きな問題となる。また、レンズの製作は研磨により製作するために研磨時間がかかる。

【0006】

一方、プラスチックでは、特に屈折率が高い材料がない。眼鏡で使われている高屈折率材料は分散が大きく色収差の発生が大きくなる。また、熱硬化型のプラスチック材料であるため、硬化に時間がかかる。さらに、吸湿性で通常的环境下でも空気中の水分を吸収して、形状変化と屈折率変化を起こしてしまう。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、ガラスの特性とプラスチックの特性を併せ持つ有機無機複合材料を用いて、軽量で、製作性が良く、複屈折性が少なく、色収差の発生が少なく、吸湿が少ない、均質な光学素子を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成する本発明の有機無機複合材料を用いた光学素子は、少なくとも1つの入射屈折面と少なくとも1つの射出屈折面とを有する光学素子において、前記光学素子は有機無機複合材料にて構成されていることを特徴とするものである。

【0009】

以下、本発明の有機無機複合材料を用いた光学素子について説明する。

【0010】

最近、有機・無機ハイブリッド材料として、無機相を有機相の3次元ネットワーク（マトリックス）中に分散してなる超微細組織を持つ有機無機複合材料が注目を浴びている（例えば、「工業材料」1998年8月号（Vol. 16, No. 8）第26～31頁、「材料科学」1999年9月号（Vol. 36, No. 5）第39～45頁）。この材料は、有機高分子の特徴（例えば、成形性、低密度等）と無機化合物の特徴（例えば、透明性等）を併せ持つもので、その物性は両方の複合則に従うものである。

【0011】

したがって、無機相の材料と有機相の材料を適当に選択し、その混合割合を適当に選ぶことにより、プラスチック材料では実現できない高屈折率で低分散の材料であって、成形性に富み、射出成形により所望の形状のものを得ることが可能になる。

【0012】

また、その有機・無機ハイブリッド材料の製造方法としては、例えば有機高分子と金属アルコキシド又はガラス前駆体（例えば、テトラエトキシシラン）の混合によるハイブリッド化があり、このようにして得られた有機無機複合材料は、有機高分子中の酸素と無機高分子中のSi-OH基のプロトンがいわゆる水素結合を持って結合しているものがあり、さらには、有機高分子と無機分散相との間に化学結合を伴うハイブリッド化したものもあり、例えば、無機分散層の末端にある-NH₂基と-NCO基を重合させて化学結合-NH-NCOH-のような共有結合を持っているものがある。

【0013】

また、このような有機無機複合材料の透明性を確保するためには、その分散の微細構造が使用する波長以下の寸法を持ったものである必要があるが、200 nm以下、好ましくは100 nm以下であることが望ましく、さらに好ましくは20 nm以下であることが望ましい。

【0014】

また、有機無機複合材料の無機成分としては、周期律表で、Ti、Zr等のIV A族に属する金属、Al等のIII B族に属する金属、Si、Ge等のIV B族に属する金属成分を含む無機物（酸化物、窒化物）が好ましい。使いやすさから、Si、Ti、Al、Zrが特に好ましい。また、高屈折率を付与する成分としては、YやLa等のランタノイド等のIII A族に属する金属成分、Nb、Ta等V A族に属する金属成分等をSi、Ti、Al、Zr成分と複合して使用することが好ましい。これらの成分の金属アルコキシドやその誘導体、金属塩等を用いることができる。

【0015】

また、有機成分としては、混合、ゲル化、乾燥及び硬化の工程で無機材料と相溶するもので、無機材料と水素結合あるいは共有結合をとることができるものであれば、ほとんどの有機ポリマーが用いることができる。より具体的には、-COOH基、-NH₂基、-OH基、Sを含む基等の構造を含む物質は、無機物の金属アルコキシドや誘導体の一部が加水分解して生成したオリゴマーに含まれる-H、COOH基、-NH₂基、-OH基等とインタラクションを持つ。無機材料と水素結合あるいは共有結合をとるものとしては、ポリウレタン、尿素樹脂、ポリアミド、ポリイミド、ポリカーボネート、ポリビニルアルコール等、多様な有機物を用いることができる。無機材料と共有結合をとるためには、一旦有機ポリマー鎖に無機材料と反応できるアルコキシド基等の官能基を導入した後を用いる。一般的に、無機材料と強い結合である共有結合をとった無機・有機ハイブリッド材料の方が強度的に優れていることが多い。

【0016】

ところで、上記のような有機無機複合材料を用いて光学素子を構成する場合、その少なくとも2つの透過面は光学的パワーを持っていることが望ましい。

【0017】

透過面が光学的パワーを持っていると、屈折面で発生する色収差の発生が大きくなる。光学素子の色収差の発生が大きくなると、他の光学素子と組み合わせ光学系を構成する場合は、他の光学素子で色収差の補正を行うことは可能であるが、上記のような有機無機複合材料を用いると、低分散のものが可能なため、色収差の発生が少ない光学素子で光学系を構成することが可能なため、好ましい。

【0018】

また、屈折率を高くすることが可能となり、球面収差や非点隔差、像歪みの発生が少なくなる。面のパワー P は、 $P = (n - 1) / R$ で表され（ n は屈折率、 R は曲率半径）、屈折率 n が大きい程、曲率半径 R を大きくすることが可能となり、収差の発生が少なくなる。

【0019】

また、光学素子は少なくとも1つの反射面を有しており、物体中心と絞り中心を通る光線を軸上主光線とすると、軸上主光線が有機無機複合材料中で屈曲している構成とすることができる。

【0020】

反射面を1つ持つと、同一材質を光路が2回通過することになり、透過率が必要となる。そのためには、プラスチックより複屈折性と吸湿性の少ない有機無機複合材料を用いると良い結果が得られる。また、反射面が光学素子に含まれていると、軸上主光線は折り返し光路をとることになり光路長が長くなり、屈折面だけのレンズに比べて体積が小さくなるので、軽量化に関してさらに好ましくなる。

【0021】

その場合に、その少なくとも1つの反射面は、光学的パワーを持っていることが望ましい。

【0022】

反射面が光学的パワーを持っていると、反射面は裏面鏡として構成されるので、収差発生量が少なくなる。裏面鏡の光学的パワーは、 $P = 2n / R$ で表され、透過面のみにより構成される光学素子より高い屈折率を用いる効果が大きい。ま

た、反射面にパワーを持たせた分、透過面が担うパワーを小さくすることが可能となり、高い屈折率を用いる効果と相乗し、収差の発生を少なくできる。

【0023】

また、その少なくとも1つの反射面は、偏心によって発生する偏心収差を補正するような回転非対称な面形状を有していることが望ましい。

【0024】

反射面で光路を屈曲すると偏心収差が大きく発生するが、これを透過面で補正することは困難である。そこで、反射面に回転非対称な面形状を与えることで、その偏心によって発生する偏心収差を補正することができる。

【0025】

ここで、回転非対称な曲面形状の面として、本発明では代表的に自由曲面を使用するが、自由曲面とは以下の式で定義されるものである。この定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0026】

$$Z = c r^2 / [1 + \sqrt{1 - (1 + k) c^2 r^2}] + \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n \dots (a)$$

ここで、(a)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

【0027】

球面項中、

c : 頂点の曲率

k : コーニック定数 (円錐定数)

$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$

である。

【0028】

自由曲面項は、

$$\sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n$$

j=2

$$\begin{aligned}
&= C_2 X + C_3 Y \\
&+ C_4 X^2 + C_5 X Y + C_6 Y^2 \\
&+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 X Y^2 + C_{10} Y^3 \\
&+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} X Y^3 + C_{15} Y^4 \\
&+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} X Y^4 \\
&\quad + C_{21} Y^5 \\
&+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 \\
&\quad + C_{27} X Y^5 + C_{28} Y^6 \\
&+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 \\
&\quad + C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} X Y^6 + C_{36} Y^7 \\
&\quad \dots\dots\dots
\end{aligned}$$

ただし、 C_j (j は 2 以上の整数) は係数である。

【 0 0 2 9 】

上記自由曲面は、一般的には、 $X-Z$ 面、 $Y-Z$ 面共に対称面を持つことはないが、 X の奇数次項を全て 0 にすることによって、 $Y-Z$ 面と平行な対称面が 1 つだけ存在する自由曲面となる。また、 Y の奇数次項を全て 0 にすることによって、 $X-Z$ 面と平行な対称面が 1 つだけ存在する自由曲面となる。

【 0 0 3 0 】

また、上記の回転非対称な曲面形状の面である自由曲面の他の定義式として、Zernike 多項式により定義できる。この面の形状は以下の式 (b) により定義する。その定義式 (b) の Z 軸が Zernike 多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、 $X-Y$ 面に対する Z の軸の高さの極座標で定義され、 R は $X-Y$ 面内の Z 軸からの距離、 A は Z 軸回りの方位角で、 X 軸から測った回転角で表せられる。

【 0 0 3 1 】

$$x = R \times \cos(A)$$

$$y = R \times \sin(A)$$

$$Z = D_2$$

$$\begin{aligned}
& + D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\
& + D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\
& + D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) \\
& \quad + D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \\
& + D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \\
& \quad + D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) \\
& \quad + D_{16} R^4 \sin(4A) \\
& + D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) \\
& \quad + D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) \\
& \quad + D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) \\
& \quad + D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \\
& + D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A) \\
& \quad + D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A) \\
& \quad + D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1) \\
& \quad + D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A) \\
& \quad + D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \dots \dots \dots \\
& \dots \dots \dots (b)
\end{aligned}$$

ただし、 D_m (m は2以上の整数)は係数である。なお、 X 軸方向に対称な光学系として設計するには、 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_{10} 、 D_{11} 、 D_{12} 、 D_{13} 、 D_{14} 、 D_{20} 、 D_{21} 、 D_{22} …を利用する。

【0032】

上記定義式は、回転非対称な曲面形状の面の例示のために示したものであり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

【0033】

なお、自由曲面の他の定義式の例として、次の定義式(c)があげられる。

【0034】

$$Z = \sum \sum C_{nm} X^m Y^n$$

例として、 $k=7$ (7次項)を考えると、展開したとき、以下の式で表せる。

【0035】

$$\begin{aligned}
Z = & C_2 \\
& + C_3 Y + C_4 |X| \\
& + C_5 Y^2 + C_6 Y |X| + C_7 X^2 \\
& + C_8 Y^3 + C_9 Y^2 |X| + C_{10} Y X^2 + C_{11} |X^3| \\
& + C_{12} Y^4 + C_{13} Y^3 |X| + C_{14} Y^2 X^2 + C_{15} Y |X^3| + C_{16} X^4 \\
& + C_{17} Y^5 + C_{18} Y^4 |X| + C_{19} Y^3 X^2 + C_{20} Y^2 |X^3| \\
& \quad + C_{21} Y X^4 + C_{22} |X^5| \\
& + C_{23} Y^6 + C_{24} Y^5 |X| + C_{25} Y^4 X^2 + C_{26} Y^3 |X^3| \\
& \quad + C_{27} Y^2 X^4 + C_{28} Y |X^5| + C_{29} X^6 \\
& + C_{30} Y^7 + C_{31} Y^6 |X| + C_{32} Y^5 X^2 + C_{33} Y^4 |X^3| \\
& \quad + C_{34} Y^3 X^4 + C_{35} Y^2 |X^5| + C_{36} Y X^6 + C_{37} |X^7| \\
& \quad \dots (c)
\end{aligned}$$

なお、回転非対称な曲面形状の面としては、アナモフィック面、トーリック面を用いることもできる。

【0036】

また、本発明の光学素子は少なくとも2つの反射面を有しており、その中の少なくとも1つの反射面は、偏心によって発生する偏心収差を補正するような回転非対称な面形状を有していることが望ましい。

【0037】

このように反射面を2つ以上持つことにより、パワーが分散されて良好な収差補正を得ることができる。

【0038】

また、2つの反射面を有しており、かつ、入射面と射出面が対向して配置されており、軸上主光線は略往復光路をとるものとしてもよい。

【0039】

入射面と射出面を対向配置することにより光路はZ字型の略往復光路となり、入射面と反射面、射出面と反射面を隣り合って配置することが可能となり、小型な光学素子を構成することができ、有機無機複合材料を使うとさらに軽量になる。

【 0 0 4 0 】

また、入射面と射出面が隣接して配置されており、軸上主光線は略交差光路をとるようにすることができる。

【 0 0 4 1 】

この場合は、光路が光学素子内で交差する配置となり、同じ部分を2回それも光線の通過方向が異なって通過するために、複屈折と吸湿性が少ない有機無機複合材料を使うことが特に重要となる。

【 0 0 4 2 】

また、本発明の光学素子を光学系の絞り近傍に配置することができる。

【 0 0 4 3 】

このような配置においては、屈折率を高めた場合に、特に球面収差の発生を抑えることが可能となる。アッベ数を上げた（分散が小さい）場合は、軸上の色収差の発生に効果がある。

【 0 0 4 4 】

また、本発明の光学素子を物体又は像面近傍に配置することができる。

【 0 0 4 5 】

このような配置においては、非点収差、コマ収差、像歪み、像面湾曲に対して良い効果を得られ、屈折率が高い場合は、各収差の発生を少なくすることが可能となり、これらを補正している他の光学素子への負担が少なくなる。

【 0 0 4 6 】

また、有機無機複合材料のd線の屈折率をn、アッベ数を ν とするとき、

$$\nu > -195n + 352.5 \quad \dots (1)$$

の関係を満足することが望ましい。

【 0 0 4 7 】

図5は、既存のプラスチックと後記の実施例で用いている有機無機複合材料のd線の屈折率nとアッベ数 ν を示す図であり、それぞれの材料の屈折率nとアッベ数 ν は次の通りである（既存のプラスチックは◆、実施例の有機無機複合材料は○で示す。）。

【 0 0 4 8 】

材料	n	v
PMMA	1. 4 9	5 8
"ZEONEX"	1. 5 2	5 5
"ARTON"	1. 5 2	5 2
PC	1. 5 8	3 0
MS	1. 5 6	3 5
O-PET	1. 6 2	2 4
熱硬化型	1. 6 6	3 2
UV硬化型	1. 6 4	2 3
"CYTOP"	1. 3 4	9 0
実施例 1 (6)	1. 7 0	5 0
実施例 2 (7)	1. 7 5	2 8
実施例 3 (8)	1. 8 0	2 6
実施例 4 (9)	1. 6 1	5 8
実施例 5 (10)	1. 6 6	5 7

【0049】

図5において、実線で示す直線は、 $v = -195n + 352.5$ の関係の直線であり、この実線より上側に位置する（式（1）を満たす）有機無機複合材料を用いたものは、波長分散が少なく、特に白色光源を用いる光学機器の光学素子として好ましい。

【0050】

また、有機無機複合材料のd線の屈折率をn、アッペ数をvとすると、

$$v > -175n + 326 \quad \dots (2)$$

の関係を満足することが望ましい。

【0051】

図5において、破線で示す直線は、 $v = -175n + 326$ の関係の直線であり、この破線より上側に位置する（式（2）を満たす）有機無機複合材料を用いたものは、より波長分散が少なく、特に白色光源を用いる光学機器の光学素子としてより好ましい。

【0052】

また、アッベ数に関して、

$$20 < v < 65 \quad \dots (3)$$

の関係を満足することが望ましい。

【0053】

アッベ数を小さくし分散を大きくすると、屈折面で発生する色収差の発生が大きくなる。反射面は色収差を原理的に発生しないため、光学素子として色収差の発生が大きくなる。当然、他の光学素子と組み合わせ光学系を構成する場合は、他の光学素子で色収差の補正を行うことは可能であるが、元々色収差の発生が少ない方が少ない光学素子で光学系を構成することができ好ましい。式(3)の下限の20を越えると、分散が大きくなりすぎて色収差の発生が大きくなり、他の面で補正することが難しくなる。逆に、上限の65を越えると、屈折率を大きくとることが難しくなり、収差発生が大きくなり、他の面で補正することが難しくなる。

【0054】

また、d線の屈折率に関して、

$$1.6 < n < 1.9 \quad \dots (4)$$

の関係を満足することが望ましい。

【0055】

この式(4)の下限の1.6を越えると、屈折率が小さくなりすぎ球面収差等の発生が大きくなり、他の面で補正することが難しくなる。上限の1.9を越えると、分散が大きくなり色収差の発生が大きくなり、他の面で補正することが難しくなる。

【0056】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の光学素子を画像表示装置の接眼光学系に適用した場合の実施例について説明する。

【0057】

図1は実施例1の偏心プリズム10を画像表示装置の接眼光学系に適用した場

合の逆光線追跡での光路図であり、実施例2～4についても同様であるので、図示は省く。この偏心プリズム（接眼プリズム）10は、第1面11から第4面14からなり、第1面11と第3面13は1つの面で兼用されており、逆光線追跡で、観察者の瞳が位置すべき射出瞳1から出た軸上主光線（光軸）2は、偏心プリズム10の第11面11で屈折されて偏心プリズム10内に入り、第12面12で内部反射され、第11面11が兼ねる第13面13に臨界角を越える角度で入射して全反射され、第14面14で屈折されて偏心プリズム10から出て、画像表示素子が配置される像面3に入射して遠方像を結像する。ここで、偏心プリズム10の第11面11～第14面14はY-Z面に対して面対称に構成されており、各面はこのY-Z面内で2次元的に偏心して構成されている。

【0058】

図2は実施例6の偏心プリズム10を画像表示装置の接眼光学系に適用した場合の逆光線追跡での光路図であり、実施例7～10についても同様であるので、図示は省く。この偏心プリズム（接眼プリズム）10は、第1面11から第4面14からなり、逆光線追跡で、観察者の瞳が位置すべき射出瞳1から出た軸上主光線（光軸）2は、偏心プリズム10の第11面11で屈折されて偏心プリズム10内に入り、第12面12で内部反射され、第13面13でさらに内部反射され、その反射光軸は第12面12に入射する光軸と偏心プリズム10内で交差し、第14面14に入射し、その面14で屈折されて偏心プリズム10から出て、画像表示素子が配置される像面3に入射して遠方像を結像する。ここで、偏心プリズム10の第11面11～第14面14はY-Z面に対して面対称に構成されており、各面はこのY-Z面内で2次元的に偏心して構成されている。

【0059】

上記実施例1～5の画像表示素子3は、 11.175×8.382 mmの画像表示素子を用いており、瞳径は 12×6 mm、画角は、水平画角 27° 、垂直画角 20.4° である。

【0060】

実施例6～10の画像表示素子3は、 3.86×2.89 mmの画像表示素子を用いており、瞳径は $\phi 4$ mm、画角は、水平画角 15° 、垂直画角 11.3°

である。

【 0 0 6 1 】

以下の各実施例で用いている有機無機複合材料の d 線での屈折率 n とアッベ数 v は以下の通りである。

【 0 0 6 2 】

実施例	屈折率 n	アッベ数 v
1	1.7000	50.0
2	1.7500	28.0
3	1.8000	26.0
4	1.6100	58.0
5	1.6600	57.0
6	1.7000	50.0
7	1.7500	28.0
8	1.8000	26.0
9	1.6100	58.0
1 0	1.6600	57.0

【 0 0 6 3 】

ここで、屈折率 1. 7 0 0 0、アッベ数 5 0. 0 の材料としては、無機成分として、 $60\text{SiO}_2 - 40\text{ZrO}_2$ の組成の酸化物ガラスを用い、有機成分として、アクリル酸誘導体とスチレンの共重合体を配合した材料を用いている。

【 0 0 6 4 】

また、屈折率 1. 7 5 0 0、アッベ数 2 8. 0 の高屈折率・高分散の材料としては、無機成分として、 $20\text{SiO}_2 - 80\text{TiO}_2$ の組成の酸化物ガラスを用い、有機成分として、メチルメタクリレート (MMA) を配合した材料を用いている。

【 0 0 6 5 】

また、屈折率 1. 8 0 0 0、アッベ数 2 6. 0 の高屈折率・高分散の材料としては、無機成分として、 $20\text{SiO}_2 - 80\text{TiO}_2$ の組成の酸化物ガラスを用い、有機成分として、メチルメタクリレート (MMA) を配合した材料を用いて

いる。

【0066】

また、屈折率1.6100、アッベ数58.0の高屈折率・高分散の材料としては、無機成分として、 $50\text{SiO}_2 - 50\text{ZrO}_2$ の組成の酸化物ガラスを用い、有機成分として、メチルメタクリレート（MMA）を配合した材料を用いている。

【0067】

また、屈折率1.6600、アッベ数57.0の高屈折率・高分散の材料としては、無機成分として、 $50\text{SiO}_2 - 50\text{ZrO}_2$ の組成の酸化物ガラスを用い、有機成分として、メチルメタクリレート（MMA）を配合した材料を用いている。

【0068】

次に、上記実施例1～10の構成パラメータを示す。各実施例の構成パラメータにおいては、図1に示すように、逆光線追跡で、軸上主光線2を、偏心プリズム10の射出瞳1の中心を垂直に通じ、画像表示素子（像面）3中心に至る光線で定義する。そして、逆光線追跡において、瞳1の中心を偏心光学系の偏心光学面の原点として、軸上主光線2に沿う方向をZ軸方向とし、瞳1から第11面11に向かう方向をZ軸正方向とし、偏心プリズム10内で光軸が折り曲げられる平面をY-Z平面とし、原点を通りY-Z平面に直交し、紙面の手前から裏面側に向かう方向をX軸正方向とし、X軸、Z軸と右手直交座標系を構成する軸をY軸とする。図2においては、同様の座標系の図示は省いてある。

【0069】

偏心面については、光学系の原点の中心からその面の面頂位置の偏心量（X軸方向、Y軸方向、Z軸方向をそれぞれX、Y、Z）と、その面の中心軸（自由曲面については、前記（a）式のZ軸、非球面については、後記の（d）式のZ軸）のX軸、Y軸、Z軸それぞれを中心とする傾き角（それぞれ α 、 β 、 γ （°））とが与えられている。その場合、 α と β の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 γ の正はZ軸の正方向に対して時計回りを意味する。なお、面の中心軸の α 、 β 、 γ の回転のさせ方は、面の中心軸とそのXYZ直交座標系を、

まずX軸の回りで反時計回りに α 回転させ、次に、その回転した面の中心軸を新たな座標系のY軸の回りで反時計回りに β 回転させると共に1度回転した座標系もY軸の回りで反時計回りに β 回転させ、次いで、その2度回転した面の中心軸を新たな座標系の新たな座標系のZ軸の回りで時計回りに γ 回転させるものである。

【0070】

また、各実施例の光学系を構成する光学作用面の中、特定の面とそれに続く面が共軸光学系を構成する場合には面間隔が与えられており、その他、媒質の屈折率、アッペ数が慣用法に従って与えられている。

【0071】

また、本発明で用いられる自由曲面の面の形状は前記(a)式により定義し、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0072】

また、非球面は、以下の定義式で与えられる回転対称非球面である。

【0073】

$$Z = (y^2 / R) / [1 + \{1 - (1 + K) y^2 / R^2\}^{1/2}] \\ + A y^4 + B y^6 + C y^8 + D y^{10} + \dots \quad \dots (d)$$

ただし、Zを光の進行方向を正とした光軸（軸上主光線）とし、yを光軸と垂直な方向にとる。ここで、Rは近軸曲率半径、Kは円錐定数、A、B、C、D、…はそれぞれ4次、6次、8次、10次の非球面係数である。この定義式のZ軸が回転対称非球面の軸となる。

【0074】

なお、データの記載されていない自由曲面、非球面に関する項は0である。屈折率については、d線（波長587.56nm）に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。

【0075】

なお、以下の構成パラメータの表中の“FFS”は自由曲面、“ASS”は非球面、“RE”は反射面をそれぞれ示す。

【 0 0 7 6 】

実施例 1

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	-1000.00			
1	∞ (瞳)				
2	A S S ①		偏心(1)	1.7000	50.0
3	F F S ① (R E)		偏心(2)	1.7000	50.0
4	A S S ① (R E)		偏心(1)	1.7000	50.0
5	F F S ②		偏心(3)		
像 面	∞		偏心(4)		
	A S S ①				
R	-465.41				
K	0.0000				
A	4.0853×10^{-6}				
B	-3.6276×10^{-9}				
	F F S ①				
C ₄	7.6069×10^{-3}	C ₆ -6.4071×10^{-3}	C ₈ -2.4575×10^{-5}		
C ₁₀	7.7260×10^{-6}	C ₁₁ 1.1304×10^{-6}	C ₁₃ 3.2477×10^{-6}		
C ₁₅	3.1345×10^{-6}	C ₁₇ -1.3022×10^{-9}	C ₁₉ 6.2515×10^{-8}		
C ₂₁	2.7325×10^{-8}				
	F F S ②				
C ₄	1.0956×10^{-2}	C ₆ 5.4778×10^{-3}	C ₈ 2.0113×10^{-4}		
C ₁₀	-5.6539×10^{-4}	C ₁₁ -5.6010×10^{-5}	C ₁₃ -1.2711×10^{-4}		
C ₁₅	1.1657×10^{-5}	C ₁₇ 4.3938×10^{-6}	C ₁₉ 5.7444×10^{-6}		
	偏心(1)				
X	0.00	Y 7.89	Z 28.00		
α	11.37	β 0.00	γ 0.00		

偏心(2)

X 0.00 Y 0.80 Z 39.72
 α -13.35 β 0.00 γ 0.00

偏心(3)

X 0.00 Y 17.12 Z 34.73
 α 72.98 β 0.00 γ 0.00

偏心(4)

X 0.00 Y 21.58 Z 40.18
 α 43.11 β 0.00 γ 0.00

【 0 0 7 7 】

実施例 2

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	-1000.00			
1	∞ (瞳)				
2	A S S ①		偏心(1)	1.7500	28.0
3	F F S ① (R E)		偏心(2)	1.7500	28.0
4	A S S ① (R E)		偏心(1)	1.7500	28.0
5	F F S ②		偏心(3)		
像 面	∞		偏心(4)		

A S S ①

R -81.65

K 0.0000

A 2.8023×10^{-7}

B -1.4916×10^{-9}

F F S ①

C_4 -1.1097×10^{-2} C_6 -1.0696×10^{-2} C_8 2.0883×10^{-6}

C_{10}	2.6469×10^{-5}	C_{11}	-1.1567×10^{-6}	C_{13}	-1.6527×10^{-6}
C_{15}	-6.5206×10^{-7}	C_{17}	5.9846×10^{-8}	C_{19}	8.2428×10^{-8}
C_{21}	1.5314×10^{-7}				

F F S ②

C_4	1.6898×10^{-2}	C_6	4.6252×10^{-4}	C_8	6.6109×10^{-5}
C_{10}	1.9893×10^{-4}	C_{11}	-5.3233×10^{-5}	C_{13}	-1.7008×10^{-4}
C_{15}	-1.1814×10^{-4}	C_{17}	1.5339×10^{-7}	C_{19}	1.1033×10^{-5}

偏心(1)

X	0.00	Y	6.52	Z	28.00
α	12.03	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	0.49	Z	37.87
α	-14.14	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	13.51	Z	32.80
α	67.68	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	19.30	Z	38.39
α	53.65	β	0.00	γ	0.00

【 0 0 7 8 】

実施例 3

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	-1000.00			
1	∞ (瞳)				
2	A S S ①		偏心(1)	1.8000	26.0
3	F F S ① (R E)		偏心(2)	1.8000	26.0
4	A S S ① (R E)		偏心(1)	1.8000	26.0
5	F F S ②		偏心(3)		

像 面 ∞ 偏心(4)

A S S ①

R -81.84
K 0.0000
A -2.2216×10^{-8}
B -1.4778×10^{-9}

F F S ①

C_4	-1.0894×10^{-2}	C_6	-1.0539×10^{-2}	C_8	4.7143×10^{-6}
C_{10}	2.5174×10^{-5}	C_{11}	-1.1313×10^{-6}	C_{13}	-1.7918×10^{-6}
C_{15}	-6.9200×10^{-7}	C_{17}	6.0539×10^{-8}	C_{19}	7.5796×10^{-8}
C_{21}	1.3715×10^{-7}				

F F S ②

C_4	1.5495×10^{-2}	C_6	2.8410×10^{-4}	C_8	4.0404×10^{-5}
C_{10}	1.9907×10^{-4}	C_{11}	-5.3853×10^{-5}	C_{13}	-1.5370×10^{-4}
C_{15}	-1.1465×10^{-4}	C_{17}	1.1444×10^{-7}	C_{19}	1.0011×10^{-5}

偏心(1)

X	0.00	Y	6.58	Z	28.00
α	11.51	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	0.48	Z	38.17
α	-13.94	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	13.76	Z	33.23
α	65.07	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	19.41	Z	38.93
α	52.42	β	0.00	γ	0.00

【0079】

実施例 4

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	-1000.00			
1	∞ (瞳)				
2	A S S ①		偏心(1)	1.6100	58.0
3	F F S ①		偏心(2)	1.6100	58.0
4	A S S ①		偏心(1)	1.6100	58.0
5	F F S ②		偏心(3)		
像 面	∞		偏心(4)		
A S S ①					
R	-613.30				
K	0.0000				
A	3.8194×10^{-6}				
B	-3.3900×10^{-9}				
F F S ①					
C ₄	-7.7195×10^{-3}	C ₆	-6.3894×10^{-3}	C ₈	-2.1002×10^{-5}
C ₁₀	1.7336×10^{-5}	C ₁₁	1.0822×10^{-6}	C ₁₃	3.3385×10^{-6}
C ₁₅	3.9178×10^{-6}	C ₁₇	3.1296×10^{-9}	C ₁₉	6.8395×10^{-8}
C ₂₁	1.8118×10^{-8}				
F F S ②					
C ₄	9.7740×10^{-3}	C ₆	5.5490×10^{-3}	C ₈	2.0291×10^{-4}
C ₁₀	-7.1899×10^{-4}	C ₁₁	-5.8003×10^{-5}	C ₁₃	-1.2416×10^{-4}
C ₁₅	2.2286×10^{-5}	C ₁₇	4.7006×10^{-6}	C ₁₉	5.6814×10^{-6}
偏心(1)					
X	0.00	Y	7.61	Z	28.00
α	13.24	β	0.00	γ	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	0.81	Z	39.18
α	-13.18	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X 0.00 Y 16.88 Z 33.84

α 79.81 β 0.00 γ 0.00

偏心(4)

X 0.00 Y 21.80 Z 39.19

α 45.92 β 0.00 γ 0.00

【 0 0 8 0 】

実施例 5

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	-1000.00			
1	∞ (瞳)				
2	A S S ①		偏心(1)	1.6600	57.0
3	F F S ① (R E)		偏心(2)	1.6600	57.0
4	A S S ① (R E)		偏心(1)	1.6600	57.0
5	F F S ②		偏心(3)		
像 面	∞		偏心(4)		

A S S ①

R -559.70

K 0.0000

A 4.0256×10^{-6}

B -3.6632×10^{-9}

F F S ①

C_4 -7.5633×10^{-3} C_6 -6.3370×10^{-3} C_8 -2.2100×10^{-5}

C_{10} 1.1349×10^{-5} C_{11} 1.1547×10^{-6} C_{13} 3.3699×10^{-6}

C_{15} 3.3630×10^{-6} C_{17} 5.9839×10^{-10} C_{19} 7.4791×10^{-8}

C_{21} 2.9286×10^{-8}

F F S ②

C_4 9.8562×10^{-3} C_6 5.1616×10^{-3} C_8 1.9420×10^{-4}

$$\begin{array}{lll} C_{10} & -6.0917 \times 10^{-4} & C_{11} & -5.5811 \times 10^{-5} & C_{13} & -1.2496 \times 10^{-4} \\ C_{15} & 1.5670 \times 10^{-5} & C_{17} & 4.5200 \times 10^{-6} & C_{19} & 5.6722 \times 10^{-6} \end{array}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 7.70 & Z & 28.00 \\ \alpha & 11.77 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.81 & Z & 39.69 \\ \alpha & -12.99 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(3)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 16.76 & Z & 34.57 \\ \alpha & 74.17 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 21.31 & Z & 40.10 \\ \alpha & 43.07 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

【 0 0 . 8 1 】

実施例 6

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	-1000.00			
1	∞ (瞳)				
2	73.91		偏心(1)	1.7000	50.0
3	FFS① (RE)		偏心(2)	1.7000	50.0
4	FFS② (RE)		偏心(3)	1.7000	50.0
5	FFS③		偏心(4)		
像 面	∞		偏心(5)		

FFS①

$$\begin{array}{lll} C_4 & -6.2172 \times 10^{-3} & C_6 & -4.7426 \times 10^{-3} & C_8 & -1.2712 \times 10^{-4} \\ C_{10} & 4.0918 \times 10^{-5} & C_{11} & 3.7858 \times 10^{-6} & C_{13} & 9.6287 \times 10^{-7} \\ C_{15} & 2.7753 \times 10^{-6} & & & & \end{array}$$

FFS②

C_4	5.0000×10^{-3}	C_6	5.0000×10^{-3}	C_8	-3.5344×10^{-4}
C_{10}	-1.0337×10^{-5}	C_{11}	8.9738×10^{-6}	C_{13}	1.1110×10^{-5}
C_{15}	3.5548×10^{-6}				

FFS③

C_4	6.1734×10^{-2}	C_6	7.6714×10^{-2}	C_8	-1.7652×10^{-2}
-------	-------------------------	-------	-------------------------	-------	--------------------------

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	25.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	37.00
α	-22.50	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	7.00	Z	30.00
α	-67.50	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	-6.00	Z	30.00
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	-7.00	Z	30.00
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

【 0 0 8 2 】

実施例 7

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	-1000.00			
1	∞ (瞳)				
2	68.97		偏心(1)	1.7500	28.0
3	FFS① (RE)		偏心(2)	1.7500	28.0

4	FFS② (RE)	偏心(3)	1.7500	28.0
5	FFS③	偏心(4)		
像 面	∞	偏心(5)		

FFS①

C_4	-6.0690×10^{-3}	C_6	-4.6443×10^{-3}	C_8	-8.9169×10^{-5}
C_{10}	4.2877×10^{-5}	C_{11}	4.8421×10^{-6}	C_{13}	2.4224×10^{-6}
C_{15}	3.6222×10^{-6}				

FFS②

C_4	5.0000×10^{-3}	C_6	5.0000×10^{-3}	C_8	-2.6778×10^{-4}
C_{10}	-3.6167×10^{-6}	C_{11}	1.1024×10^{-5}	C_{13}	9.9688×10^{-6}
C_{15}	4.0581×10^{-6}				

FFS③

C_4	9.1843×10^{-2}	C_6	1.0747×10^{-1}	C_8	-1.3970×10^{-2}
-------	-------------------------	-------	-------------------------	-------	--------------------------

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	25.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	37.00
α	-22.50	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	7.00	Z	30.00
α	-67.50	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	-6.00	Z	30.00
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	-7.00	Z	30.00
α	-90.00	β	0.00	γ	0.00

【 0 0 8 3 】

実施例 8

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	-1000.00			
1	∞ (瞳)				
2	61.78		偏心(1)	1.8000	26.0
3	FFS① (RE)		偏心(2)	1.8000	26.0
4	FFS② (RE)		偏心(3)	1.8000	26.0
5	FFS③		偏心(4)		
像 面	∞		偏心(5)		
FFS①					
C_4	-5.8639×10^{-3}	C_6	-4.4965×10^{-3}	C_8	-8.4296×10^{-5}
C_{10}	3.8766×10^{-5}	C_{11}	5.3996×10^{-6}	C_{13}	2.9919×10^{-6}
C_{15}	3.8421×10^{-6}				
FFS②					
C_4	5.0000×10^{-3}	C_6	5.0000×10^{-3}	C_8	-2.5338×10^{-4}
C_{10}	-4.6435×10^{-6}	C_{11}	1.1924×10^{-5}	C_{13}	9.7497×10^{-6}
C_{15}	4.2653×10^{-6}				
FFS③					
C_4	9.9089×10^{-2}	C_6	1.1211×10^{-1}	C_8	-1.2332×10^{-2}
偏心(1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	25.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	0.00	Z	37.00
α	-22.50	β	0.00	γ	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	7.00	Z	30.00
α	-67.50	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X 0.00 Y -6.00 Z 30.00
 α -90.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(5)

X 0.00 Y -7.00 Z 30.00
 α -90.00 β 0.00 γ 0.00

【 0 0 8 4 】

実施例 9

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	-1000.00			
1	∞ (瞳)				
2	118.65		偏心(1)	1.6100	58.0
3	F F S ① (R E)		偏心(2)	1.6100	58.0
4	F F S ② (R E)		偏心(3)	1.6100	58.0
5	F F S ③		偏心(4)		
像 面	∞		偏心(5)		

F F S ①

C_4 -6.7419×10^{-3} C_6 -5.1355×10^{-3} C_8 -1.3212×10^{-4}
 C_{10} 4.3655×10^{-5} C_{11} 2.9834×10^{-6} C_{13} -1.1392×10^{-7}
 C_{15} 2.2629×10^{-6}

F F S ②

C_4 5.0000×10^{-3} C_6 5.0000×10^{-3} C_8 -3.6829×10^{-4}
 C_{10} -1.8179×10^{-5} C_{11} 7.2754×10^{-6} C_{13} 9.7538×10^{-6}
 C_{15} 3.0759×10^{-6}

F F S ③

C_4 5.4910×10^{-2} C_6 7.4861×10^{-2} C_8 -2.0325×10^{-2}

偏心(1)

X 0.00 Y 0.00 Z 25.00

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(2)

X 0.00 Y 0.00 Z 37.00

α -22.50 β 0.00 γ 0.00

偏心(3)

X 0.00 Y 7.00 Z 30.00

α -67.50 β 0.00 γ 0.00

偏心(4)

X 0.00 Y -6.00 Z 30.00

α -90.00 β 0.00 γ 0.00

偏心(5)

X 0.00 Y -7.00 Z 30.00

α -90.00 β 0.00 γ 0.00

【 0 0 8 5 】

実施例 1 0

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
-----	------	-----	----	-----	------

物体面	∞	-1000.00			
-----	----------	----------	--	--	--

1	∞ (瞳)				
---	--------------	--	--	--	--

2	86.52		偏心(1)	1.6600	57.0
---	-------	--	-------	--------	------

3	F F S ① (R E)		偏心(2)	1.6600	57.0
---	---------------	--	-------	--------	------

4	F F S ② (R E)		偏心(3)	1.6600	57.0
---	---------------	--	-------	--------	------

5	F F S ③		偏心(4)		
---	---------	--	-------	--	--

像 面	∞		偏心(5)		
-----	----------	--	-------	--	--

F F S ①

C_4	-6.4435×10^{-3}	C_6	-4.9132×10^{-3}	C_8	-1.3254×10^{-4}
-------	--------------------------	-------	--------------------------	-------	--------------------------

C_{10}	4.0742×10^{-5}	C_{11}	3.3836×10^{-6}	C_{13}	3.7727×10^{-7}
----------	-------------------------	----------	-------------------------	----------	-------------------------

C_{15}	2.4738×10^{-6}				
----------	-------------------------	--	--	--	--

F F S ②

$$\begin{array}{lll} C_4 & 5.0000 \times 10^{-3} & C_6 & 5.0000 \times 10^{-3} & C_8 & -3.6682 \times 10^{-4} \\ C_{10} & -1.5594 \times 10^{-5} & C_{11} & 8.1108 \times 10^{-6} & C_{13} & 1.0536 \times 10^{-5} \\ C_{15} & 3.3354 \times 10^{-6} & & & & \end{array}$$

FFS③

$$\begin{array}{lll} C_4 & 5.6393 \times 10^{-2} & C_6 & 7.2998 \times 10^{-2} & C_8 & -1.8806 \times 10^{-2} \end{array}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.00 & Z & 25.00 \\ \alpha & 0.00 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.00 & Z & 37.00 \\ \alpha & -22.50 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(3)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 7.00 & Z & 30.00 \\ \alpha & -67.50 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -6.00 & Z & 30.00 \\ \alpha & -90.00 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(5)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -7.00 & Z & 30.00 \\ \alpha & -90.00 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

【 0 0 8 6 】

上記実施例 1、6 の横収差をそれぞれ図 3、図 4 に示す。これらの横収差図において、括弧内に示された数字は（水平画角，垂直画角）を表し、その画角における横収差を示す。

【 0 0 8 7 】

ところで、以上のような有機無機複合材料を適用できる光学素子としての偏心プリズム 10 は、上記の実施例の内部反射回数 2 回のものに限定されず種々の偏心プリズムが可能である。図 6 ～ 図 13 にその例を示す。なお、例えば撮像光学系に用いる結像光学系として説明するが、もちろん、実施例 1 ～ 10 のような接

眼光学系としても使用できる。

【0088】

図6の場合は、プリズムPは第1面112、第2面113、第3面114、第4面115からなり、瞳111を通過して入射した光は、第1面112で屈折してプリズムPに入射し、第2面113で内部反射し、第3面114で内部反射し、第4面115に入射して屈折されて、像面116に結像する。

【0089】

図7の場合は、プリズムPは第1面112、第2面113、第3面114、第4面115からなり、瞳111を通過して入射した光は、第1面112で屈折してプリズムPに入射し、第2面113で内部反射し、再び第1面112に入射して今度は全反射し、第3面114で内部反射し、第4面115に入射して屈折されて、像面116に結像する。

【0090】

図8の場合は、プリズムPは第1面112、第2面113、第3面114、第4面115からなり、瞳111を通過して入射した光は、第1面112で屈折してプリズムPに入射し、第2面113で内部反射し、第3面114に入射して全反射し、第4面115に入射して内部反射し、再び第3面114に入射して今度は屈折されて、像面116に結像する。

【0091】

図9の場合は、プリズムPは第1面112、第2面113、第3面114からなり、瞳111を通過して入射した光は、第1面112で屈折してプリズムPに入射し、第2面113で内部反射し、第3面114で内部反射し、再び第1面112に入射して今度は全反射し、再び第2面113に入射して今度は屈折されて、像面116に結像する。

【0092】

図10の場合は、プリズムPは第1面112、第2面113、第3面114、第4面115からなり、瞳111を通過して入射した光は、第1面112で屈折してプリズムPに入射し、第2面113で内部反射し、第3面114に入射して内部反射し、第2面113に再度入射して内部反射し、第4面115に入射して屈

折されて、像面 116 に結像する。

【0093】

図 11 の場合は、プリズム P は第 1 面 112、第 2 面 113、第 3 面 114、第 4 面 115 からなり、瞳 111 を通って入射した光は、第 1 面 112 で屈折してプリズム P に入射し、第 2 面 113 で内部反射し、第 3 面 114 に入射して内部反射し、第 2 面 113 に再度入射して内部反射し、第 4 面 115 に入射して内部反射し、第 2 面 113 に再度入射して今度は屈折されて、像面 116 に結像する。

【0094】

図 12 の場合は、プリズム P は第 1 面 112、第 2 面 113、第 3 面 114 からなり、瞳 111 を通って入射した光は、第 1 面 112 で屈折してプリズム P に入射し、第 2 面 113 で内部反射し、再び第 1 面 112 に入射して今度は全反射し、第 3 面 114 で内部反射し、三たび第 1 面 112 に入射して全反射し、第 3 面 114 に再度入射して今度は屈折されて、像面 116 に結像する。

【0095】

図 13 の場合は、プリズム P は第 1 面 112、第 2 面 113、第 3 面 114 からなり、瞳 111 を通って入射した光は、第 1 面 112 で屈折してプリズム P に入射し、第 2 面 113 で内部反射し、再び第 1 面 112 に入射して今度は全反射し、第 3 面 114 で内部反射し、三たび第 1 面 112 に入射して全反射し、再び第 3 面 114 に入射して内部反射し、四たび第 1 面 112 に入射して今度は屈折されて、像面 116 に結像する。

【0096】

また、図 1、図 2、図 6～図 13 に示した偏心プリズム 10、P を単体で用いてもよいが、これらの偏心プリズム 10、P を 2 個ないし 3 個以上を組み合わせた光学系として用いてもよい。その際、中間像を 1 回結像するタイプ、あるいは中間像を結像しないタイプ、あるいは、中間像を 2 回以上結像するタイプとしてもよい。

【0097】

以上の本発明の有機無機複合材料を用いた光学素子は例えば次のように構成す

ることができる。

【0098】

〔1〕 少なくとも1つの入射屈折面と少なくとも1つの射出屈折面とを有する光学素子において、前記光学素子は有機無機複合材料にて構成されていることを特徴とする有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0099】

〔2〕 前記有機無機複合材料は、無機相が有機相の3次元ネットワーク（マトリックス）中に分散してなる材料であることを特徴とする上記1記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0100】

〔3〕 前記有機無機複合材料の有機材料は、有機高分子とガラス前駆体の混合により製造されていることを特徴とする上記2記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0101】

〔4〕 前記有機無機複合材料は、有機相と無機相の間に共有結合を持つことを特徴とする上記2記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0102】

〔5〕 前記の分散が100nm以下の微細構造を持っていることを特徴とする上記2から4の何れか1項記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0103】

〔6〕 前記有機無機複合材料は、無機相が金属化合物からなることを特徴とする上記2から5の何れか1項記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0104】

〔7〕 前記有機無機複合材料を射出成形することにより成形されてなることを特徴とする上記1から6の何れか1項記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0105】

〔8〕 前記光学素子の少なくとも2つの透過面は光学的パワーを持っていることを特徴する上記1から7の何れか1項記載の有機無機複合材料を用いた光

学素子。

【0 1 0 6】

〔9〕 前記光学素子は少なくとも1つの反射面を有しており、物体中心と絞り中心を通る光線を軸上主光線とすると、軸上主光線が前記有機無機複合材料中で屈曲していることを特徴とする上記8記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 0 7】

〔10〕 前記の少なくとも1つの反射面は、光学的パワーを持っていることを特徴とする上記9記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 0 8】

〔11〕 前記の少なくとも1つの反射面は、偏心によって発生する偏心収差を補正するような回転非対称な面形状を有していることを特徴とする上記9又は10記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 0 9】

〔12〕 前記光学素子は少なくとも2つの反射面を有しており、その中の少なくとも1つの反射面は、偏心によって発生する偏心収差を補正するような回転非対称な面形状を有していることを特徴とする上記9又は10記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 1 0】

〔13〕 前記光学素子は2つの反射面を有しており、かつ、入射面と射出面が対向して配置されており、軸上主光線は略往復光路をとることを特徴とする上記12記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 1 1】

〔14〕 前記光学素子は入射面と射出面が隣接して配置されており、軸上主光線は略交差光路をとることを特徴とする上記12記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 1 2】

〔15〕 光学系の絞り近傍に配置したことを特徴とする上記1から14の何れか1項記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 1 3】

〔1 6〕 物体又は像面近傍に配置したことを特徴する上記 1 から 1 5 の何れか 1 項記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 1 4】

〔1 7〕 前記有機無機複合材料の d 線の屈折率を n、アッペ数を ν とするとき、

$$\nu > -195n + 352.5 \quad \dots (1)$$

の関係を満足することを特徴する上記 1 から 1 6 の何れか 1 項記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 1 5】

〔1 8〕 前記有機無機複合材料の d 線の屈折率を n、アッペ数を ν とするとき、

$$\nu > -175n + 326 \quad \dots (2)$$

の関係を満足することを特徴する上記 1 から 1 6 の何れか 1 項記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 1 6】

〔1 9〕

$$20 < \nu < 65 \quad \dots (3)$$

の関係を満足することを特徴する上記 1 7 又は 1 8 記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 1 7】

〔2 0〕

$$1.6 < n < 1.9 \quad \dots (4)$$

の関係を満足することを特徴する上記 1 7 から 1 9 の何れか 1 項記載の有機無機複合材料を用いた光学素子。

【0 1 1 8】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明によると、ガラスの特性とプラスチックの特性を併せ持つ有機無機複合材料を用いて、軽量で、製作性が良く、複屈折

性が少なく、色収差の発生が少なく、吸湿が少ない、均質な光学素子を得ることができる。本発明は、特に、光学的パワーを持つ反射屈折光学素子に適したものである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施例 1 の偏心プリズムの光路図である。

【図 2】

本発明の実施例 2 の偏心プリズムの光路図である。

【図 3】

実施例 1 の横収差を示す収差図である。

【図 4】

実施例 6 の横収差を示す収差図である。

【図 5】

既存のプラスチックと本発明の実施例で用いている有機無機複合材料の d 線の屈折率 n とアッペ数 v を示す図である。

【図 6】

本発明による有機無機複合材料を適用できる偏心プリズムの 1 例を示す図である。

【図 7】

本発明による有機無機複合材料を適用できる偏心プリズムの別の例を示す図である。

【図 8】

本発明による有機無機複合材料を適用できる偏心プリズムの別の例を示す図である。

【図 9】

本発明による有機無機複合材料を適用できる偏心プリズムの別の例を示す図である。

【図 10】

本発明による有機無機複合材料を適用できる偏心プリズムの別の例を示す図で

ある。

【図 1 1】

本発明による有機無機複合材料を適用できる偏心プリズムの別の例を示す図である。

【図 1 2】

本発明による有機無機複合材料を適用できる偏心プリズムの別の例を示す図である。

【図 1 3】

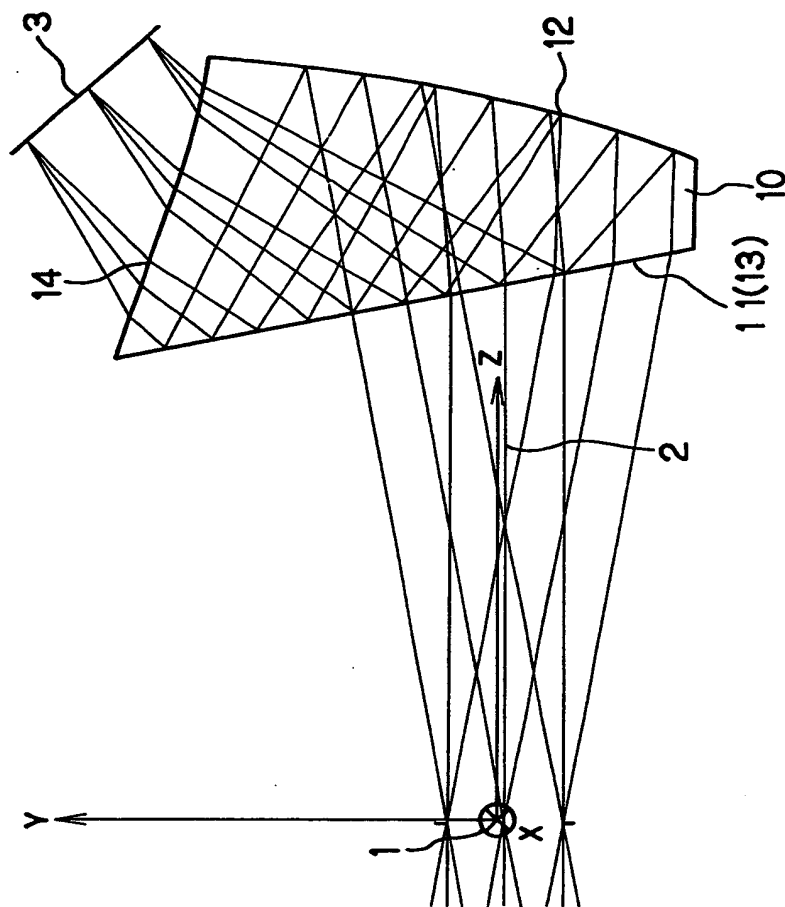
本発明による有機無機複合材料を適用できる偏心プリズムの別の例を示す図である。

【符号の説明】

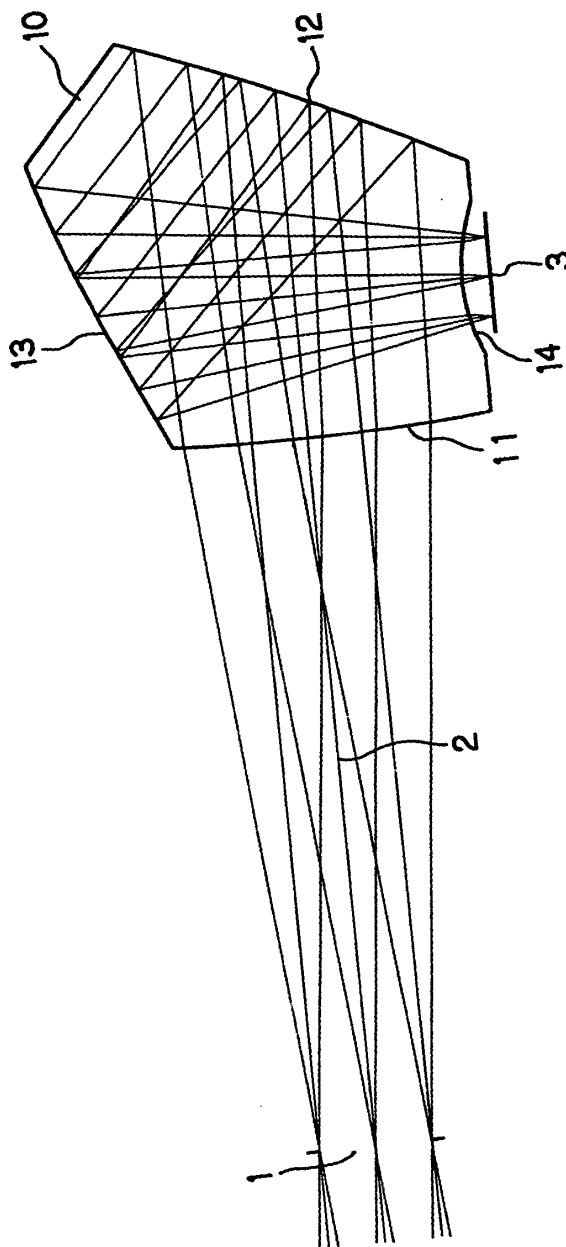
- 1 … 射出瞳
- 2 … 軸上主光線（光軸）
- 3 … 画像表示素子（像面）
- 1 0 … 偏心プリズム
- 1 1 … 第 1 面
- 1 2 … 第 2 面
- 1 3 … 第 3 面
- 1 4 … 第 4 面
- 1 1 1 … 瞳
- 1 1 2 … 第 1 面
- 1 1 3 … 第 2 面
- 1 1 4 … 第 3 面
- 1 1 5 … 第 4 面
- 1 1 6 … 像面
- P … 偏心プリズム

【書類名】 図面

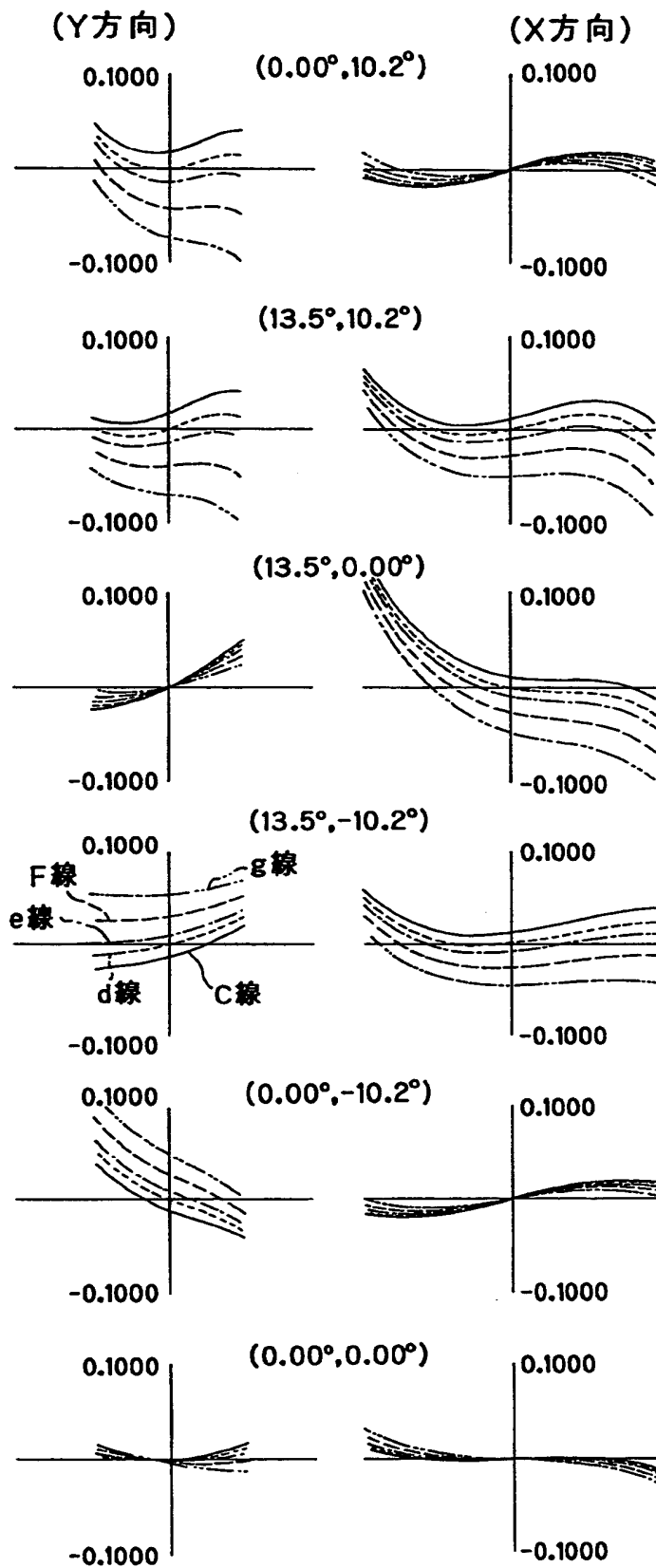
【図 1】



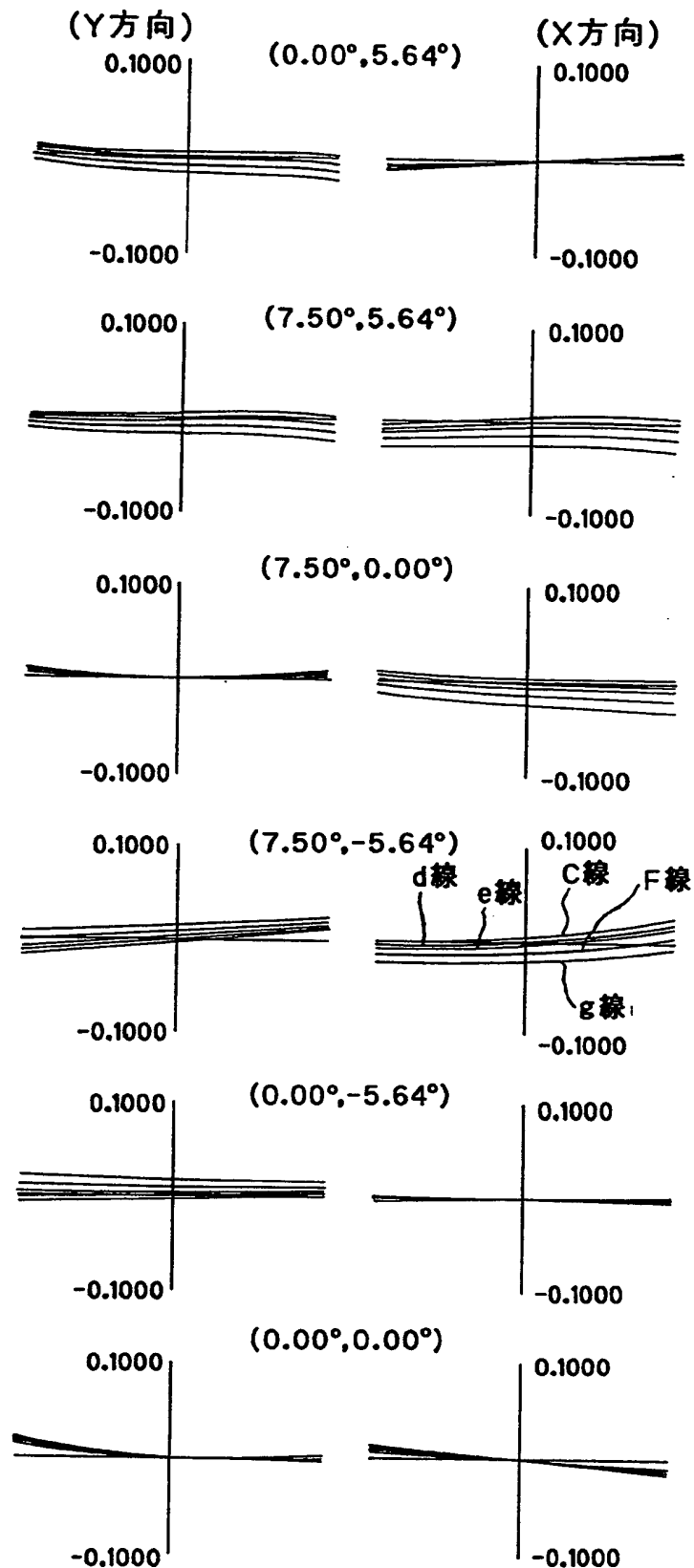
【図2】



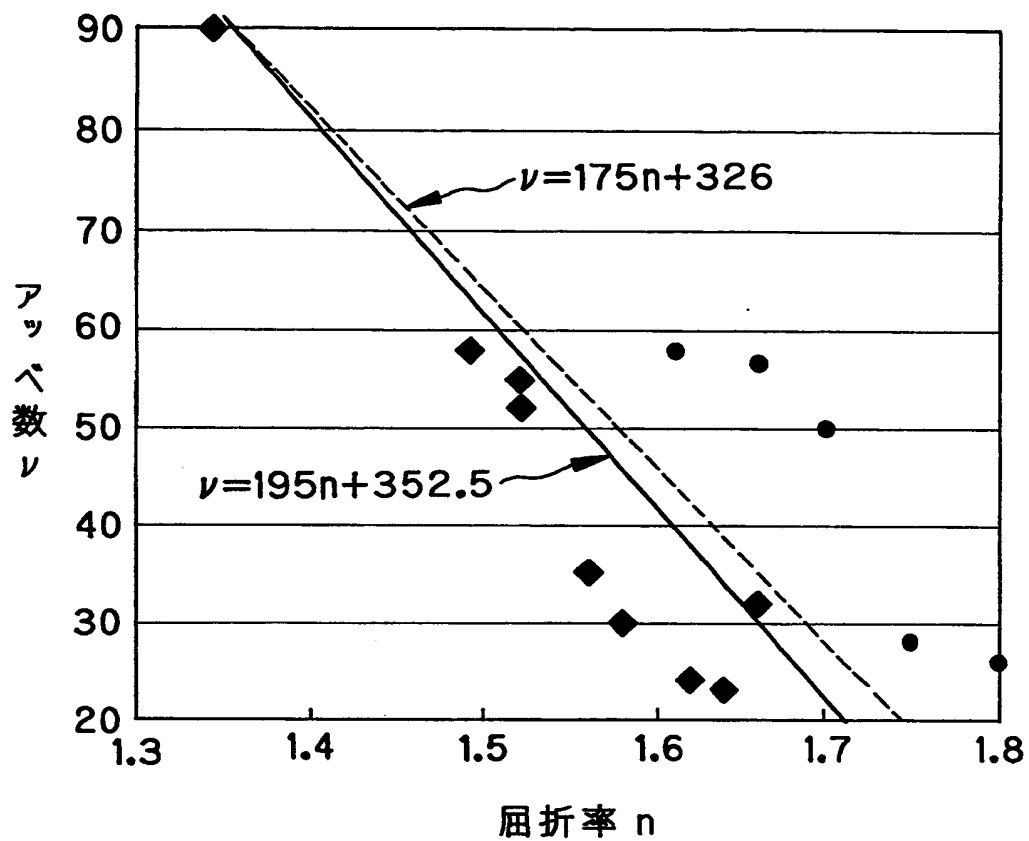
【図3】



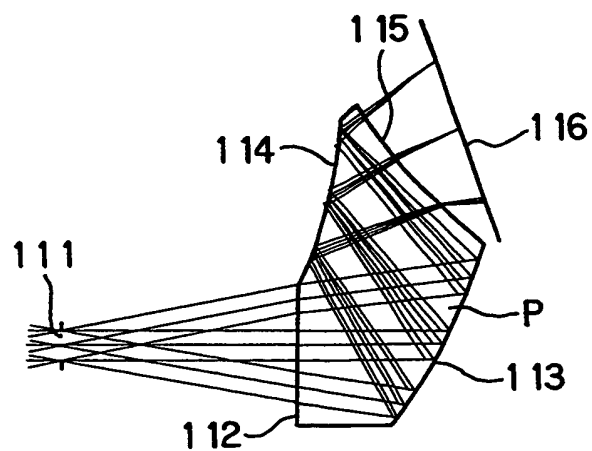
【図 4】



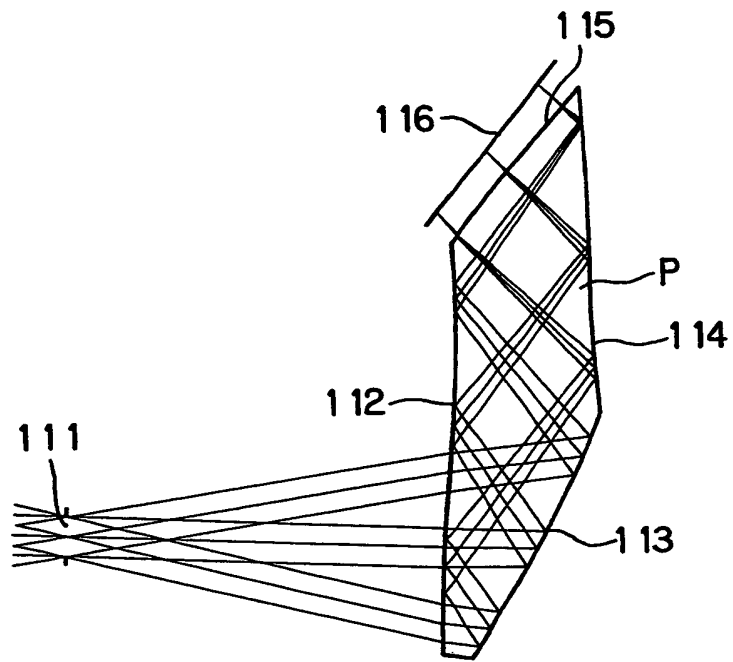
【図 5】



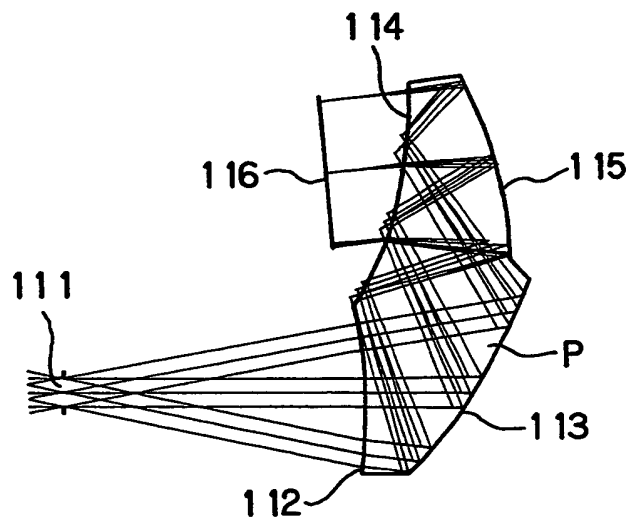
【図 6】



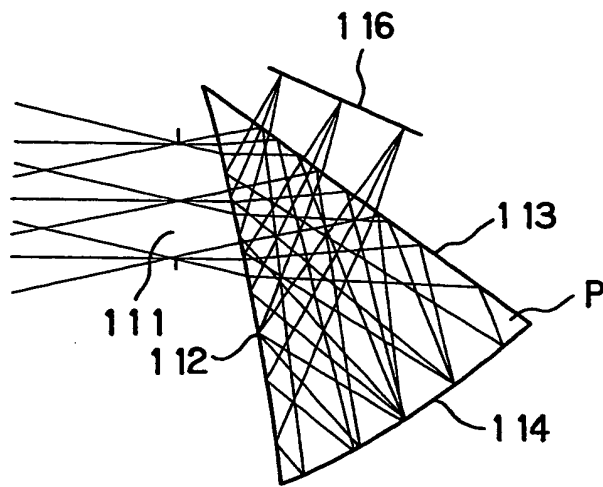
【図 7】



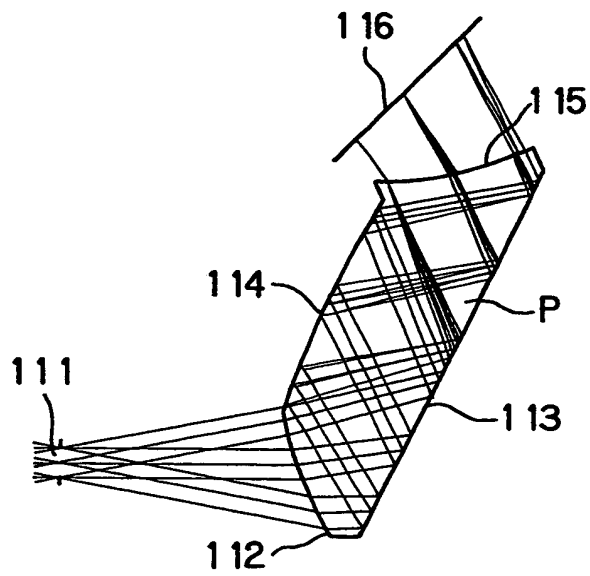
【図 8】



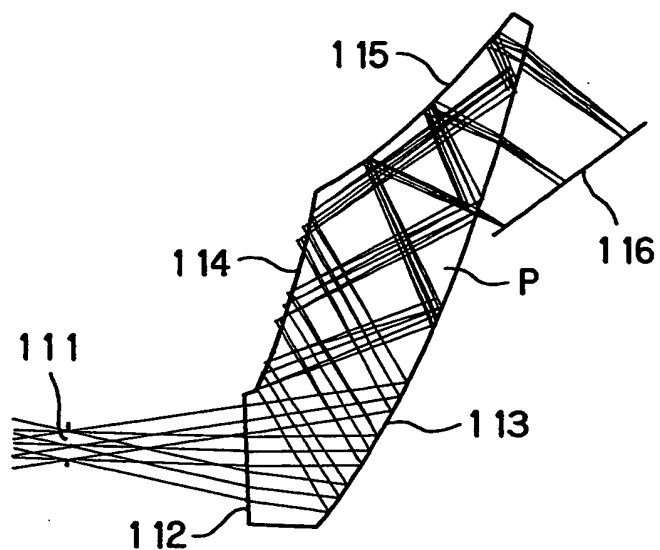
【図 9】



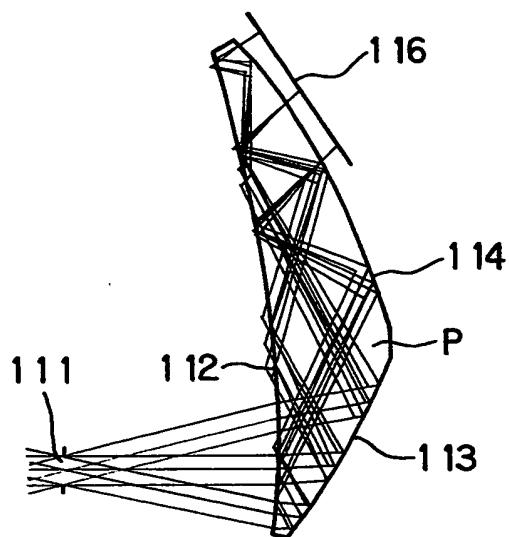
【図 1 0】



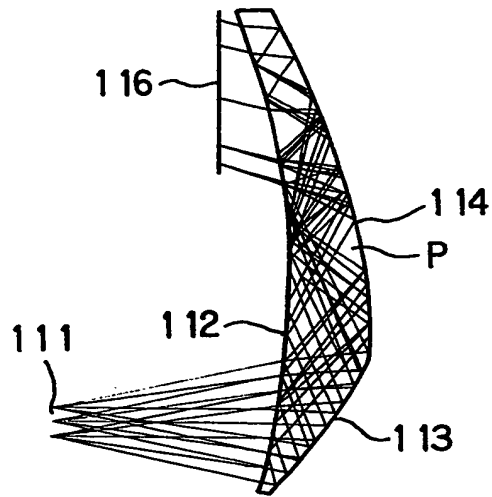
【図11】



【図12】



【図13】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ガラスの特性とプラスチックの特性を併せ持つ有機無機複合材料を用いて、軽量で、製作性が良く、複屈折性が少なく、色収差の発生が少なく、吸湿が少ない、均質な光学素子。

【解決手段】 少なくとも1つの入射屈折面11と少なくとも1つの射出屈折面14とを有する光学素子10において、光学素子10は有機無機複合材料にて構成されており、その有機無機複合材料は、無機相が有機相の3次元ネットワーク（マトリックス）中に分散してなる材料である。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000376]

1. 変更年月日 1990年 8月20日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
氏 名 オリンパス光学工業株式会社